

鋼トラス橋の冗長性確保のための格点部の性能に関する一考察

A Consideration on Performance of Panel Points based on Redundancy

瀧本 耕大*

Koudai TAKIMOTO

*構造強度学研究室（指導教員：斉木 功 准教授）

近年の鋼トラス橋の冗長性に関する研究により、橋梁全体の冗長性は格点部の性能に依存していることが分かっている。しかし、現行の設計法においては、ガセットプレートの板厚の照査には斜材の軸力に対する考慮がなされていない。そこで本研究では、単純鋼トラス橋の冗長性を確保することを目的として、対象橋梁の健全時と部材破断時を想定し、格点部に作用する荷重を明らかにする。さらに、その結果を踏まえ、格点部に要求される性能について考察した。

Key Words: steel truss bridge, nonlinear finite element method, gusset plate, redundancy

1. はじめに

近年、国内における鋼トラス橋の斜材に破断が発見されたが、設計では考慮されていない冗長性が働き、落橋には至らなかった。このため、鋼トラス橋の冗長性が発揮されるメカニズムに関する研究が行われるようになった。永谷ら¹⁾は骨組モデルの線形解析により冗長性が格点部の性能に依存することを述べ、笠野・依田²⁾はガセットプレートに補剛材を付け加えることで格点部の耐荷力が向上することを述べている。しかし、道路橋示方書³⁾におけるガセットプレートの照査には斜材の軸力しか考慮されていない。そこで本研究では、単純トラス橋の健全時と部材破断時を想定し、格点部に作用する荷重を明らかにした上で、対象橋梁の冗長性が十分に確保されるために、格点部に要求される性能について述べる。

2. 解析方法

木曾川大橋と同等の規模の単純トラス橋（全長 70.63 m, 幅員 8.6 m, 高さ 8.5 m）のモデルを用いる。上・下弦材、横桁、縦桁などは梁要素によってモデル化しているが、実橋梁の挙動を精度良く再現するためにのように格点、格点付近は板要素で詳細にモデル化している。部材は端部から支間中央へ向けて斜材を D1, D2, D3 とし、上弦材を U1, U2, 下弦材を L1, L2, 格点部を J1, J2 と呼ぶこととする。また、本研究では橋梁の健全時と斜材 D2 破断時を想定して解析を行う。解析には汎用有限要素解析ソフト NX NASTRAN を用い、幾何学および材料非線形性を考慮した静的非線形有限要素解析を行った。RC 床版は弾性体とし、板要素を用いた。鋼材はすべて SM400 を仮定した弾塑性体を基本としており、von Mises の降伏条件、初期降伏応力 235 MPa, 硬化係数を Young 率の 10^{-2} 倍とした。

荷重は、死荷重 (D) および活荷重 (L) を解析モデルに載荷する。活荷重は、道路橋示方書³⁾に準じ、L 荷

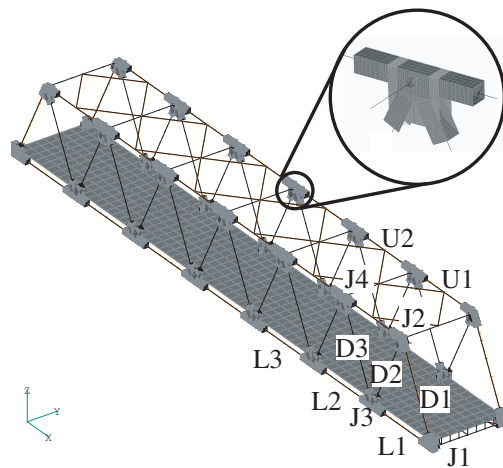


図-1 解析モデルおよび格点部の拡大図

重 (p_1 荷重 = 12 kN/m², p_2 荷重 = 3.5 kN/m²) を床版に圧力として載荷した。この L に対する倍率で荷重パラメータ f を定義し、荷重の大きさを $D+fL$ とし、D を先行して載荷した後、 f をゼロから斬増させた。相当塑性ひずみが 2% に達したときときの f を終局限界荷重 f_c とする。

3. 格点部の改善による耐荷力の向上

(1) 格点部の破壊が発生しない場合

表-1 に非線形解析の結果をまとめた。鋼材をすべて弾塑性体として解析したモデル（以降、基本モデル）の結果は、健全時も斜材 D2 破断時も格点部が先行して塑性変形していることがわかる。そこで、格点部の塑性変形が起こらない場合を考えるために格点部の板要素のみを弾性体とした橋梁モデル（以降、格点弾性モデル）の解析を行った。表-1 から、健全時は格点弾性モデルの f_c が基本モデルよりも 0.39 (10%) 向上していることがわかる。このとき、格点部 J3 はせん断による塑性変形を生じた。また、斜材 D2 が破断した場合で

表-1 格点部の性能による冗長性の変化

解析モデル	f_c	相当塑性ひずみ	破断部材
基本 (健全時)	3.69	0.0187	J3(せん断)
格点弾性 (健全時)	4.08	0.0202	D2(曲げ)
基本 (D2 破断)	0.75	0.0204	J2(曲げ)
格点弾性 (D2 破断)	1.09	0.0203	U1(曲げ)
改善案 1(健全時)	4.06	0.0186	J2(引張)
改善案 2(D2 破断時)	1.02	0.0198	J3(曲げ)

は、基本モデルに対して、格点弾性モデルの f_c は 0.34 (45%) 向上した。このとき、上弦材 U1 が曲げによって塑性変形した。これは、斜材 D2 が破断したことにより、トラス構造の三角形が D1, U1, D3, L1 による平行四辺形の構造へと変化したためと考えられる。

つまり、現状の単純トラス橋の耐荷性能は格点部が先行して破壊しないような設計を行うことにより、健全時、D2 破断時のそれぞれの基本モデルと比べて f_c が向上する可能性があることを示している。格点弾性モデルの健全時と D2 破断時の f_c を目標として格点部の性能向上を図る。

(2) 健全時に要求される格点部の性能

基本モデルにおける健全時は図-2 のように、格点部 J3 のガセットプレートの斜材 D2 の接続部と、ダイヤフラム接続部の間でせん断力による塑性ひずみが増加する結果となった。加えて、格点弾性モデルの場合と同様に D2 斜材において車道側に凸となる曲げが生じた。

そこで、格点部 J3 のガセットプレートの板厚を 9 mm から 11 mm に変更したモデル (改善案 1) を用いて、格点部 J3 の塑性変形を防ぎ、健全時の冗長性の向上を試みた。改善案 1 の f_c は 4.06 となり、基本モデルから 0.37 (10%) 向上し、格点弾性モデルと同等の f_c に改善することができた。改善案 1 では、格点 J2 のガセットプレートが斜材 D2 が引張によって塑性変形した。

健全時の冗長性の向上のためには、斜材の軸力だけでなく、横桁がガセットプレートへ及ぼす面外方向への影響にも考慮する必要があることがわかった。

(3) D2 破断時に要求される格点部の性能

図-3 に示す格点 J2 のひずみ分布を見ると D2 破断時の基本モデルは上弦材の上フランジと下フランジにおいて塑性ひずみが生じていることがわかる。これは格点弾性モデルの D2 破断時と同様に上弦材 U1 に曲げが生じ、より曲げモーメントの大きい格点 J2 付近で局部屈曲したと考えられる。

そこで、ガセットプレートの面積を大きくし、曲げ耐力の向上を試みた (改善案 2)。このときの J2 のひずみ分布を図-4 に示す。図-3 と比べると、曲げひずみの減少を図ることができた。改善案 2 の f_c は 1.02 となり、基本モデルから 0.27 (36%) 向上し、 f_c の改善ができた。

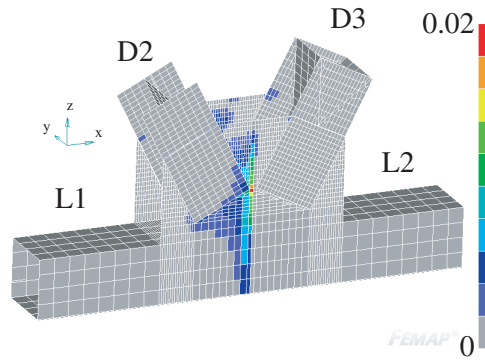


図-2 基本モデル (健全時) の格点 J3 の相当塑性ひずみ分布 ($f=3.69$)

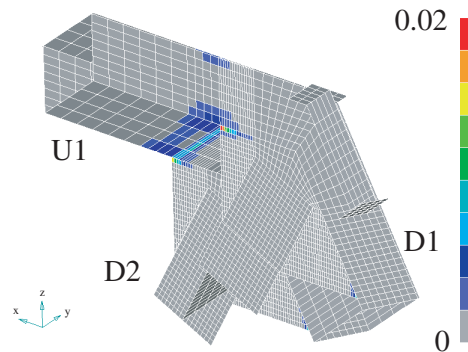


図-3 基本モデル (D2 破断時) の格点 J2 の相当塑性ひずみ分布 ($f=0.75$)

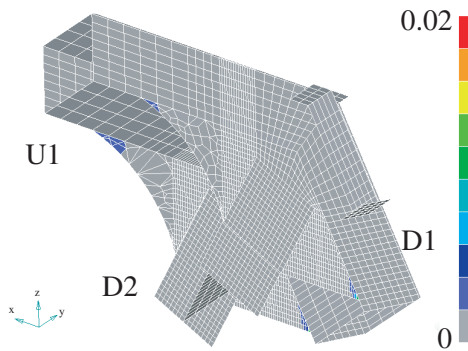


図-4 改善案 2 (D2 破断時) の格点 J2 の相当塑性ひずみ分布 ($f=0.75$)

斜材破断時の冗長性の向上にはガセットプレートの面内曲げ耐力の向上が有効であることがわかった。

参考文献

- 1) 永谷秀樹, 赤石直光, 松田岳憲, 安田昌宏, 石井博典, 宮森雅之, 小幡泰弘, 平山博, 奥井義昭: 我国の鋼トラス橋を対象としたリダンダンシー解析の検討, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.410-425, 2009.
- 2) 笠野英行, 依田照彦: 米国ミネアポリス I-35W 橋の崩壊メカニズムと格点部の損傷評価, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp.313-323, 2010.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 丸善, 2002.

(2014年2月12日提出)